



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 44 24 492 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁸:
B 23 K 26/06
G 02 B 26/00



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

(21) Aktenzeichen: P 44 24 492.4
(22) Anmeldetag: 12. 7. 94
(43) Offenlegungstag: 25. 1. 96

DE 4424492 A1

⑦ Anmelder:

74 Vertreter:
Patentanwälte Rau, Schneck & Hübner, 90402
Nürnberg

72 Erfinder:
Hoffmann, Peter, Dr.-Ing., 90425 Nürnberg, DE;
Neubauer, Norbert, Dipl.-Phys., 90461 Nürnberg, DE;
Schuberth, Stefan, Dipl.-Phys., 91052 Erlangen, DE;
Glasmacher, Mathias, Dipl.-Phys., 91052 Erlangen, DE;
Pucher, Hans-Jörg, Dipl.-Ing., 91056 Erlangen, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

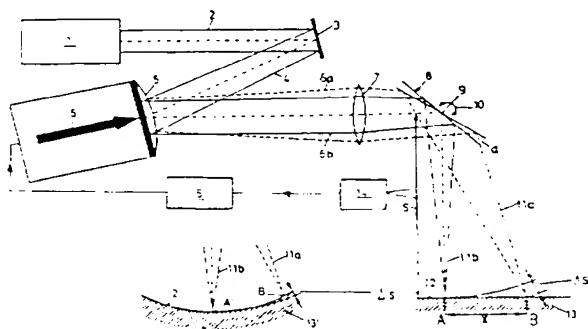
DE	41 23 052 C2
DE	42 17 705 A1
DE	42 03 284 A1
DE	41 08 419 A1
DE	38 07 471 A1

FREEMAN,R.H.;
PEARSON,J.E.: Deformable mirrors for all seasons
and reasons. In: Applied Optics, Vol.21, No.4, 15.
Febr. 1982. S.580-588:

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54) Anordnung zur Werkstückbearbeitung mittels eines auf einen Brennfleck fokussierbaren Lasers

57) Bei einer Anordnung zur Werkstückbearbeitung mittels eines auf einen Brennfleck fokussierbaren Lasers ist zur Erzielung eines definierten Durchmessers des Brennflecks auf dem Werkstück außerhalb des Zentralbereiches bzw. in Abhängigkeit von der Geometrie der Werkstückoberfläche vorgesehen, daß der Fokussierungslinse (7) mindestens ein über eine elektronische Steuer- oder Regeleinrichtung (15) ansteuerbarer deformierbarer Spiegel (5) vorgeordnet ist, wobei die Krümmung des deformierbaren Spiegels (5) über die Regel- oder Steuereinrichtung (15) in Abhängigkeit von dem Abstand (s) zwischen der wenigstens einen Schwenkachse (9) des Scanner-Spiegels (8) und der jeweiligen Position des Brennflecks (A, B, A', B') der Oberfläche (12) des zu bearbeitenden Werkstücks (13) veränderbar ist.



DE 44 24 492 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

BUNDESDRUCKEREI 11 95 508 064/33

Beschreibung

Die Erfindung richtet sich auf eine Anordnung zur Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines auf einen Brennfleck fokussierbaren Lasers, insbesondere für langwellige Laserstrahlung, umfassend wenigstens eine Fokussierungslinse und ein um wenigstens eine Achse variabel strahlablenkbares System, wie ein schwenkbarer, gesteuerter Scanner- oder Polygon-Spiegel.

Derartige Anordnungen mit einem Schwenk-, Scanner-, oder Polygon-Spiegel werden dort eingesetzt, wo der Brennfleck des Lasers mit hoher Geschwindigkeit über das zu bearbeitende Werkstück geführt werden muß. Da bei derartigen hohen Geschwindigkeiten natürgemäß hohe Beschleunigungen auftreten, lassen sich solche Systeme nicht mit einem bewegten Werkstück realisieren, da sonst geringe Bearbeitungsgeschwindigkeiten, Abweichungen der Bearbeitungsgeschwindigkeit und Ungenauigkeiten in der Relativbewegung auftreten würden.

Dementsprechend erfolgt bei derartigen scannenden Systemen die Brennfleckpositionierung durch Kippbewegungen oder Linearbewegungen eines Spiegels oder durch einen rotierenden Polygon-Spiegel. Wenn man zwei unabhängige Kippachsen des Spiegels vorsieht, ist eine zweidimensionale Bewegung des Brennflecks möglich. Dies führt allerdings dazu, daß sich der Brennfleck nicht exakt in einer Ebene, sondern auf der Oberfläche eines Toroids bewegt, was bei einem ebenen Werkstück zu Abweichungen der Lage des Brennflecks von der optimalen Bearbeitungsposition führt.

Durch den Einsatz sogenannter Planfeldoptiken kann man eine gewisse Korrektur bewerkstelligen, wobei aber solche Planfeldoptiken bei einer langwelligen Laserstrahlung, wie z. B. bei der Verwendung von CO₂-Lasern, nur für kleine Arbeitsbereiche verfügbar sind. Aufgrund der beschränkten Auswahl an Linsenmaterialien für diesen Wellenlängenbereich können Abbildungsfehler nur begrenzt korrigiert werden. Weiterhin sind Planfeldoptiken relativ kostenaufwendig.

Eine weitere Möglichkeit zur Brennfleckbeeinflussung besteht in der lateralen Verschiebung der Fokussierlinse, was allerdings eine schnelle Nachstellung aufgrund der Trägheit derselben ebenfalls nicht möglich macht.

Das gleiche gilt für in den Strahlengang einbringbare optische Elemente, die die Lage des Brennflecks über eine zusätzliche, linear bewegte Linse anpassen. Hierbei ist eine Bewegung in der Größenordnung von mehreren Millimetern bzw. Zentimetern erforderlich, so daß die Dynamik des Systems beschränkt ist.

Hiervon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, bei einer Anordnung mit einem variabel strahlablenkenden System mit hoher Dynamik eine aktive Brennfleckpositionierung so zu realisieren, daß über die Vorwahl des Abstandes zwischen dem Fokus des Laserstrahls und der Werkstückoberfläche ein definierter Durchmesser des Brennflecks auf dem Werkstück eingestellt werden kann und zwar bei einem ebenen Werkstück auch außerhalb eines Zentralbereiches und bei unebenen Werkstücken in Abhängigkeit von der Geometrie der Werkstückoberfläche.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Fokussierungslinse ein über eine elektronische Steuer- oder Regeleinrichtung ansteuerbarer deformierbarer Spiegel vorgeordnet ist, wobei die Krümmung des deformierbaren Spiegels über die Regel- oder Steuereinrichtung in Abhängigkeit von dem Abstand

zwischen der wenigstens einen Schwenkachse des Scanner-Spiegels und der jeweiligen Position des Brennflecks auf der Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks veränderbar ist.

- 5 Die Integration eines deformierbaren Spiegels in eine Anordnung zur Werkstückbearbeitung mittels eines Laserstrahls ist aus der DE 42 17 705 A1 an sich bekannt. Bei derartigen kommerziell verfügbaren deformierbaren Spiegeln werden Spiegelflächen aus elastischem Material durch einen Aktuator definiert deformiert. Vorteilhafterweise werden als Aktuatoren piezoelektrische Stellelemente verwendet, da sie den Vorteil außerordentlich kurzer Stellzeiten aufweisen. Erfindungsgemäß macht man sich zunutze, daß die Divergenz des Laserstrahls direkten Einfluß hat auf die Lage des Brennflecks. Trifft nämlich der Laserstrahl konvergent auf die Linse, liegt der Fokus vor dem Brennpunkt. Bei divergentem Laserstrahl liegt der Fokus nach dem Brennpunkt. Hieraus wird deutlich, daß durch eine Einflußnahme auf die Divergenz die Lage des Brennflecks veränderbar ist.
- 10
- 15
- 20

Weitere vorteilhafte Maßnahmen geben die Untersprüche an. Dabei ist insbesondere auf die Möglichkeit der automatischen Abstandserfassung über eine Sensoreinrichtung hinzuweisen, durch die gerade bei Werkstücken mit nicht ebener Oberfläche selbsttätig über den deformierbaren Spiegel und die diesem vorgeschaltete Regel- bzw. Steuereinrichtung und die Strahlikonvergenz eine optimierte Brennfleckeneinstellung erfolgen kann.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung näher beschrieben. Diese zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Anordnung.

In der Zeichnung ist ein Laser 1, beispielsweise in Form eines CO₂-Lasers mit einer Wellenlänge von 10,6 μm dargestellt. Von diesem Laser ausgehend trifft ein annähernd paralleles Strahlenbündel 2 auf einen Planspiegel 3 und wird dort aufgrund der Propagations-eigenschaften von Laserstrahlen in Form eines leicht divergenten Strahlenbündels 4 umgelenkt auf einen deformierbaren Spiegel 5 mit piezoelektrischen Aktoren, die durch den Pfeil 6 veranschaulicht sind und, wie durch den Pfeil 6 angedeutet, die Oberfläche des deformierbaren Spiegels 5 so verformen, daß deren Brennweite verändert wird.

In Abhängigkeit hiervon verändert sich die Divergenz des den deformierbaren Spiegel 5 verlassenden Strahlenbündels 6a (gestrichelt eingezeichnet) bzw. 6b (durchgehend eingezeichnet), wobei die beiden Strahlenbündel 6a bzw. 6b durch unterschiedliche Brennweite erzeugt werden.

Das Strahlenbündel 6a bzw. 6b passiert eine Fokussierlinse 7 und trifft dann auf einen schwenkbar gelagerten Planspiegel 8, der um zwei zueinander senkrechte Schwenkachsen schwenkbar sein kann, wobei in der Zeichnung eine dieser Schwenkachsen 9 für eine Schwenkbewegung in Richtung des Pfeils 10 erkennbar ist, eine Schwenkachse also, die senkrecht zur Zeichen-ebene verläuft.

Die den Planspiegel 8, also den Scanner-Spiegel, verlassenden Strahlenbündel 11a bzw. 11b korrespondieren zu den auftreffenden Strahlenbündeln 6a bzw. 6b.

Die konvergierenden Strahlenbündel 11a bzw. 11b treffen auf die Oberfläche 12 eines in der Zeichnung rechts dargestellten ebenen Werkstücks 13 auf, wobei das Strahlenbündel 11b in der Zeichnung bei dem Punkt

A und das Strahlenbündel 11a zu einem späteren Zeitpunkt bei um den Winkel Alpha geschwenktem Scanner-Spiegel 8 im Punkt B auftrefft, wobei die Punkte A und den B den Abstand X aufweisen.

Der Abstand des Punktes A von der Schwenkachse 9 5 beträgt s, wobei der Abstand des Punktes B von der Schwenkachse 9 um einen Betrag Delta S größer ist.

Durch eine schematisch angedeutete Sensoreinrichtung 14 kann der jeweilige Abstand der Schwenkachse 9 von der Werkstückoberfläche 12 gemessen werden und 10 der Meßwert dem Eingang einer Regel- bzw. Steuereinrichtung 15 zugeführt werden, die ihrerseits zur Ansteuerung des deformierbaren Spiegels 5 dient.

In der Zeichnung links ist eine Werkstückvariante 13' mit einer gekrümmten Oberfläche 12' dargestellt, wobei sich in diesem Fall eine Abweichung Delta s im Abstand 15 der Schwenkachse 9 von der Werkstückoberfläche 12' dadurch ergibt, daß die Oberfläche von der eines Toroids um einen Betrag Delta s in der rechts in der Teilzeichnung dargestellten Position abweicht.

Die Punkte A, B in der rechten Teilzeichnung und A', B' in der linken Teilzeichnung entsprechen dem jeweiligen Brennfleck der Strahlen 11a, 11b.

Die erfindungsgemäße Anordnung sorgt dafür, daß ausgehend von einer optimalen Positionierung des Werkstücks 13, 13' zum Brennfleck A bzw. A' auch bei einer seitlichen Verlagerung des Brennflecks hin zu den Brennflecken B bzw. B' und der damit einhergehenden Veränderung des ursprünglichen Abstandes der Schwenkachse 9 von dem jeweiligen Brennpunkt um 30 einen Betrag Delta s durch Veränderung der Divergenz des Strahlenbündels 6a bzw. 6b mit Hilfe des deformierbaren Spiegels 5 gleichwohl ein konstanter Brennfleckdurchmesser und eine Brennflecknachführung erreicht wird, wie dies durch die Strahlenbündel 11a veranschau- 35 licht wird.

Es ist also mit Hilfe der erfindungsgemäßen Anordnung sowohl möglich, ebene Werkstücke unter Einsparung aufwendiger Planfeldoptiken als auch dreidimensionale Werkstücke unter Einsatz eines Scanner-Spie- 40 gels mit hoher Dynamik zu bearbeiten.

Patentansprüche

1. Anordnung zur Bearbeitung eines Werkstücks 45 mittels eines auf einen Brennfleck fokussierbaren Lasers, insbesondere für langwellige Laserstrahlung, umfassend wenigstens eine Fokussierungslinse und ein um wenigstens eine Achse variabel strahlablenkendes System, wie ein schwenkbarer, gesteuerter Scanner-Spiegel oder rotierender Polygon Spiegel, dadurch gekennzeichnet, daß der Fokussierungslinse (7) mindestens ein über eine elektronische Steuer- oder Regeleinrichtung (15) 50 ansteuerbarer deformierbarer Spiegel (5) vorgeordnet ist, wobei die Krümmung des deformierbaren Spiegels (5) über die Regel- oder Steuereinrichtung (15) in Abhängigkeit von dem Abstand (s) zwischen der wenigstens einen Schwenkachse (9) des Scanner-Spiegels (8) und der jeweiligen Position 55 des Brennflecks (A, B, A', B') der Oberfläche (12) des zu bearbeitenden Werkstücks (13) veränderbar ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Regel- oder Steuereinrichtung 65 (15) den deformierbaren Spiegel (5) derart ansteuert, daß eine Brennfleckverlagerung bei gleichzeitig konstantem Brennfleckdurchmesser realisiert

wird.

3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Brennfleckdurchmesser auf der Werkstückoberfläche durch die aktive Brennfleckverlagerung auf einen definierten Wert eingestellt wird.

4. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der deformierbare Spiegel (5) durch piezoelektrische Aktuatoren zur Veränderung der Spiegelflächenkrümmung des deformierbaren Spiegels (5) beaufschlagt wird.

5. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Sensoreinrichtung (14) zur Bestimmung des Abstandes (s) zwischen der Schwenkachse (9) des Scanner-Spiegels (8) und Werkstückoberfläche (12) vorgesehen ist, wobei der Ausgang der Sensoreinrichtung (14) mit dem Eingang der Regel- oder Steuereinrichtung (15) für den deformierbaren Spiegel (5) verbunden ist.

6. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Strahlablenkung vor dem fokussierenden Element in den Strahlengang integriert ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

